

Brazilian Journal of Animal and Environmental Research

Modelagem na nutrição de não ruminantes: aspectos gerais, dinâmica de nutrientes, limitações e sistemas de serviços

Modeling in the nutrition of non-ruminants: general aspects, nutrient dynamics, limitations and service systems

Recebimento dos originais: 01/11/2019

Aceitação para publicação: 30/12/2019

Girlene Cordeiro de Lima Santos

Mestranda em Zootecnia pela Universidade Federal da Paraíba-UFPB, no Centro de Ciências Agrárias-CCA

Instituição: Universidade Federal da Paraíba-UFPB, Centro de Ciências Agrárias-CCA.

Endereço: 12 Rodovia, PB-079, Areia - PB, Brasil, CEP: 58397-000

E-mail: girlenecordeiros@gmail.com

Pedro Henrique de Melo Garcia

Mestrando em Zootecnia pela Universidade Federal da Paraíba-UFPB, no Centro de Ciências Agrárias-CCA

Instituição: Universidade Federal da Paraíba-UFPB, Centro de Ciências Agrárias-CCA.

Endereço: 12 Rodovia, PB-079, Areia - PB, Brasil, CEP: 58397-000

E-mail: pedrogarcia.ufal@gmail.com

Daiane Gonçalves dos Santos

Mestranda em Zootecnia pela Universidade Federal da Paraíba-UFPB, no Centro de Ciências Agrárias-CCA

Instituição: Universidade Federal da Paraíba-UFPB, Centro de Ciências Agrárias-CCA.

Endereço: 12 Rodovia, PB-079, Areia - PB, Brasil, CEP: 58397-000

E-mail: daianeagro@outlook.com

Severino Gonzaga Neto

Doutor em Zootecnia pela Universidade Estadual Paulista

Instituição: Universidade Federal da Paraíba-UFPB, Centro de Ciências Agrárias-CCA.

Endereço: 12 Rodovia, PB-079, Areia - PB, Brasil, CEP: 58397-000

E-mail: sgonzaganeto@gmail.com

Ana Maria Cabral Duarte

Doutora pela Universidade Federal Rural de Pernambuco

Instituição: Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, Unidade Acadêmica de Serra Talhada-UAST

Endereço: Av. Gregório Ferraz Nogueira, s/n, Bairro: José Tomé de Souza Ramos, Serra Talhada-PE, Brasil, CEP: 56909-535

E-mail: amdcabral@gmail.com

RESUMO

A modelagem vem se mostrando uma ferramenta eficiente e prática para estimar as exigências nutricionais dos animais, integrando de forma dinâmica o uso dos nutrientes com os mecanismos biológicos e a variação dos fenômenos digestivos e metabólicos. Os avanços ocorridos nos últimos anos

permitiram, além do aprimoramento das técnicas de modelagem, a evolução dos softwares e da capacidade de processamento dos computadores. Contudo, essas ferramentas ainda não têm sido totalmente apreciadas pelos usuários, e muito delas não assumem modelos com base em processos. Por outro lado, a associação de modelos matemáticos e, sensores e equipamentos automatizados tem ajudado no surgimento de sistemas com base no AIPF (“Automated Intelligent Precision Feeder”), que ajudam na “alimentação de precisão”. Nesta revisão são abordados aspectos gerais da modelagem, o avanço da pesquisa da dinâmica de nutrientes e sua modelagem, limitações e o progresso da oferta de serviços de nutrição animal em função da associação da tecnologia da informação com os modelos matemáticos. O avanço da modelagem da nutrição animal de não ruminantes é amplamente esperada com vistas à estimativa da rentabilidade, eficiência biológica do sistema produtivo e a expectativa financeira da empresa.

Palavras-chave: AIPF, crescimento, equações matemáticas, serviços na alimentação animal.

ABSTRACT

Modeling has proven to be an efficient and practical tool to estimate the nutritional requirements of animals, dynamically integrating the use of nutrients with biological mechanisms and the variation of digestive and metabolic phenomena. Advances in recent years have allowed, in addition to the improvement of modeling techniques, the evolution of software and the processing capacity of computers. However, these tools have not yet been fully appreciated by users, and many of them do not assume process-based models. On the other hand, the association of mathematical models and automated sensors and equipment has helped in the emergence of Automated Intelligent Precision Feeder (AIPF) - based systems that assist in “precision feeding”. This review addresses general aspects of modeling, the advancement of nutrient dynamics research and its modeling, limitations and the progress of the provision of animal nutrition services due to the association of information technology with mathematical models. The advancement of non-ruminant animal nutrition modeling is widely expected with a view to estimating profitability, biological efficiency of the production system and the company's financial expectation.

Keywords: AIPF, growth, mathematical equations, feed services.

1 INTRODUÇÃO

A modelagem matemática, em condições de pesquisa científica pode contribuir em diversas áreas de estudos, como física, química, biologia, etc. O modelo é um agrupamento de símbolos e ligações matemáticas que descreve um objeto de estudo, o qual consiste em simular eventos reais, por meio de equações. É uma metodologia que ajuda na quantificação e no entendimento de fenômenos (crescimento, desenvolvimento embrionário, produção de ovos, absorção e metabolismo de nutrientes, etc.). Por meio dessa técnica é possível descrever fenômenos ou processos por equações com auxílio da informática (LOVATO, 2013; ROSSI et al., 2013; OVIEDO-RONDÓN et al., 2014).

A modelagem vem se mostrando uma ferramenta eficiente e prática para estimar as exigências nutricionais dos animais, integrando de forma dinâmica a utilização dos nutrientes com mecanismos biológicos e a variação dos fenômenos digestivos e metabólicos dos animais (LOVATTO e SAUVANT, 2001). É muito útil para adequar o manejo alimentar e nutricional de acordo com as características e

objetivos de cada sistema de produção. A partir da modelagem é possível desenvolver estratégias alimentares e adotar uma nutrição mais precisa, melhorando o desempenho animal e reduzindo a poluição ambiental (POMAR et al., 2009).

Os avanços ocorridos nos últimos anos permitiram, além do aprimoramento das técnicas de modelagem, a evolução de softwares e da capacidade de processamento dos computadores. Neste contexto um grande número de pesquisas voltadas ao desenvolvimento de modelos matemáticos tem surgido permitindo a previsão da resposta dos animais aos diferentes ambientes de crescimento e manejo (OVIEDO-RONDÓN et al., 2014).

Contudo, essas ferramentas não tem sido totalmente apreciadas pelos usuários, por causa de problemas, tais como: falta de entendimento do processo de modelagem, métodos para obter valores necessários para fazer simulações adequadas, a falta de treinamento para utilizar de forma correta esses modelos no âmbito industrial (LOVATO, 2013; ROSTAGNO et al. 2017). Além disso, outras limitações, em relação às simulações, ainda podem ser citadas: muitos programas de formulação de dietas não assumem modelos customizados e não consideram a diversidade dos sistemas de produção (SAKOMURA et al., 2002; ISOLA et al., 2018). Vários programas que utilizam a modelagem computacional para tentar prever o desempenho de sistemas biológicos ou de produção foram disponibilizados no mercado (LOVATO, 2013; ROSSI et al., 2013).

Nesta revisão são abordados aspectos gerais da modelagem, o avanço da pesquisa da dinâmica de nutrientes no animal e sua modelagem, suas limitações e o progresso da oferta de serviços de nutrição animal em função da associação da tecnologia da informação com os modelos matemáticos.

2 ASPECTOS GERAIS DA MODELAGEM MATEMATICA

Os modelos podem ser classificados como lineares ou não lineares, estático ou dinâmico, determinísticos ou estocásticos e, empíricos ou mecanísticos (RONDÓN, MURAKAMI e SAKAGUTI, 2002). Nos modelos lineares, os dados se encontram organizados de forma linear, quadrático, cubo, etc., enquanto os modelos não lineares descrevem outros tipos de dispersão dos dados, como exponencial, logaritmo, sigmoide, etc. Os modelos estáticos retratam fenômenos que acontecem em um período de tempo estipulado, já os modelos dinâmicos, os fenômenos variam no tempo. Os modelos determinísticos exibem uma só resposta, enquanto que os modelos estocásticos, também denominados probabilísticos, mostram mais de uma resposta, sendo capaz de prever a dispersão dos fenômenos. Os modelos empíricos são baseados na interação duas ou mais variáveis, enquanto os mecanísticos são fundamentados em leis da física, química, bioquímica entre outras. Desses modelos citados, na produção animal, os modelos lineares são os mais usados para a obtenção da exigência nutricional dos animais. Freitas (2005),

avaliando curva de crescimento animal, concluiu que, quando não se faz uso desses modelos lineares, os pesos iniciais e finais das espécies comumente são subestimados pelos modelos não lineares. De acordo Bassanezi (2002), na potencialização do desempenho animal e na lucratividade da produção, os modelos mecanicistas são muito importantes.

O modelo matemático elaborado ou ajustado deve ser sempre validado, por meio da comparação dos dados estimados com os valores observados no sistema real (BASSANEZI, 2002). A validação do modelo advém da acurácia, pois o mesmo deve estimar a resposta do animal e mostrar resultados que são difíceis de serem entendidos em função da complexidade dos fenômenos (OVIEDO-RONDÓN, 2007).

De modo geral, a modelagem auxilia na representação da realidade, dando suporte às tomadas de decisões, facilitando assim o planejamento e a previsão das atividades. Na produção animal, apresenta-se como um importante instrumento de auxílio para predição de medidas das características de interesse, levando em consideração fatores genéticos, nutricionais, ambientais e de manejo ao longo das fases de criação (VAN MILGEN et al., 2008). Oferece suporte aos nutricionistas trabalharem com informações mais confiáveis da real exigência dos animais, para seu crescimento e produção, através de parâmetros das equações que são estimados, utilizando dados experimentais (CERON, 2013).

Os parâmetros estatísticos usados na modelagem exibem determinada imprecisão, que são o erro padrão, intervalo de confiança e significância. Essa imprecisão é devida aos princípios biológicos serem estruturados com base em informações disponíveis e não no real estado do sistema (animal). Nesse aspecto, a modelagem é uma aproximação da realidade (STRINGHINI et al., 2014).

Outro ponto importante é que o risco de um modelo falhar está inverso à compreensão do modelador em entender o animal como um sistema e, utilizar adequadas ferramentas matemáticas para descrevê-lo. A construção do modelo inclui o estabelecimento do seu propósito e determinação da melhor combinação de equações empíricas e teóricas para representação das funções fisiológicas. Por isto, o sucesso de um modelo vai depender do conhecimento do modelador (HAUSCHILD, 2010; STRINGHINI et al., 2014).

Em modelagem, modelos matemáticos capazes de estimar as exigências nutricionais dos animais em diversas condições ambientais seguem o método fatorial (CAMARGO et al., 2016), logo que permitem representar de forma simples um processo biológico, produtivo e econômico (OVIEDO-RONDÓN et al., 2014). Além deste método, ainda se aplica o método dose-resposta para determinar as exigências nutricionais dos animais. Neste segundo método, a exigência total é determinada com base na resposta de desempenho dos animais alimentados com dietas contendo níveis crescentes de um

nutriente estudado. Esse se diferencia do método fatorial, por que neste é considerado a partição da exigência do animal para manutenção e crescimento (produção) (SAKOMURA e ROSTAGNO, 2007).

Por causa de sua praticidade e facilidade de execução, o método dose-resposta tem sido a base para a elaboração de tabelas de exigências nutricionais, por exemplo, das Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (ROSTAGNO et al. 2017). O método fatorial gera as estimas das exigências nutricionais com o uso de modelos, levando-se em conta as diferenças de pesos, composição corporal, potencial de crescimento e de produção dos animais, assim como o ambiente de criação (SAKOMURA e ROSTAGNO, 2007).

A predição de fenômenos por meio de modelos matemáticos é o meio mais barato de experimentação para simplificar as complexidades teóricas e a relação entre processos envolvidos dentro de um mesmo fenômeno. Além do mais, essa técnica permite prevê resultados de fatores os quais não podem ser medidos de forma direta, auxiliando na lucratividade e sustentabilidade dos sistemas de produção (RONDÓN, 2007; ANDRETA et al., 2017).

A credibilidade dos modelos empregados nas simulações é determinada pela origem dos dados que são oriundos de pesquisas que utilizam métodos científicos de experimentação, os quais requerem avaliações por meio de metodologias estatísticas apropriadas. Os procedimentos estatísticos empregados nas experimentações são as análises de regressão linear, não-linear ou múltipla, na qual, merecem um importante destaque por serem bastante úteis na determinação da relação existente entre as variáveis respostas e os fatores considerados nos modelos. A quantificação dessas relações é fundamental para o processo de implementação dos programas de simulação (RONDÓN et al., 2002; OVIEDO-RONDÓN et al., 2014).

Na avaliação de um modelo, o mesmo é testado em populações de comportamento conhecido ou com dados da literatura. Segundo Harlow e Ivey (1994), quatro aspetos básicos precisam ser avaliados em cada modelo: calibração, acurácia, precisão e o viés. Rondón et al. (2002), a calibração corresponde ao processo de ajuste dos parâmetros que permite ao modelo estimar o crescimento em condições experimentais e comerciais. Cada modelo utiliza um método de calibração diferente, podendo este influenciar sua flexibilidade e/ou confiabilidade. A acurácia de um modelo determina quão próxima o modelo estima os dados. A precisão do modelo está relacionada com a variabilidade de suas respostas. Modelos pouco precisos possuem resultados muito variáveis para uma mesma condição. Já o viés do modelo indica as suas falhas sistemáticas para predizer os valores observados, o que leva a superestimação ou subestimação de variáveis importantes.

3 DINÂMICA DE NUTRIENTES NO ANIMAL E SUA MODELAGEM

O conhecimento da dinâmica de nutrientes na interface dieta-animal é decisivo para a formulação da ração e na lucratividade do produtor. Nesta primeira etapa é considerada a estimativa das exigências nutricionais dos animais, além do cálculo dos nutrientes fornecidos pelos alimentos e da modelagem a ser adotada na obtenção da ração que eleve o ganho de peso pelo animal. Na segunda etapa são adotados os custos dos alimentos, preços dos produtos e a demanda de mercado (GONÇALVES et al., 2015). Nesta perspectiva, a modelagem acaba sendo uma ferramenta relevante, logo que permite prever os impactos no peso do animal como resultado da alteração da dieta, auxiliando no planejamento e na tomada de decisão (HAUSCHILD et al., 2012).

O crescimento do animal até a ocasião do abate, desenvolvimento dos tecidos (partes do animal), composição corporal (proteína bruta, aminoácidos, etc.), densidade energética, consumo, ingestão e excreção de nutrientes e a duração do ciclo (período entre o nascer e momento do abate), informações estas customizadas (específicas) para as condições ambientais e de manejo da propriedade seriam os dados ideais a serem adotados na formulação de dietas, com vistas na rentabilidade por produto, eficiência biológica do sistema produtivo e na expectativa financeira da empresa (OVIEDO-RONDÓN, POMAR e CONCEIÇÃO, 2014).

Mas, o nível de complexidade induz, na maioria dos casos, preferir o uso de métodos mais simples para indicação das dietas. Exemplo disto são os softwares que se baseiam em programação linear de custo mínimo, que no caso de aves e suínos assumem as Tabelas Brasileiras de Exigências de nutrientes (LOVATTO et al., 2005). Estudos são geridos para medir o crescimento, níveis de nutrientes e composição corporal dos animais, bem como melhorar a formulação de ração por meio de programas com modelos mais eficazes em representar as relações de consumo e ganho de peso dos animais, uma vez que as atuais programações consideram valores médios para as espécies.

O tamanho do animal na ocasião do abate permite adequar a dieta e mensurar a lucratividade. O modelo de von Bertalanffy generalizado foi usado por Oliveira et al. (2007), com taxa de catabolismo variável em função de resposta logística do tempo, para estimativa do crescimento, tanto para machos quanto para fêmeas de suínos sob boas condições de manejo e nutrição. Em fêmeas e machos de frango (criados até 56 dias), linhagens Cobb 500, Ross 308 e Hubbard Flex, Demuner et al. (2017), entre os modelos estudados (Gompertz, Logístico, von Bertalanffy e Richards), verificaram que é possível estimar com ótima precisão o peso corporal dos animais em função da idade por meio dos modelos de Richards e de Gompertz. O modelo de Richards ponderado (com correção da heterogeneidade) exibiu os melhores ajustes em fêmeas, enquanto para machos, este mesmo modelo pode possuir ou não a ponderação de seus parâmetros. Em outro estudo, Demuner (2016) utilizou o modelo alométrico de

Gompertz para mensurar o consumo de ração, dinâmica de crescimento de partes dos frangos (peito, asa, coxa, sobrecoxa, fígado, coração, pena, carcaça, etc.), peso corporal em jejum, deposição de água, composição de nutrientes (proteína, gordura, cinzas, etc.) e a conversão alimentar, em machos e fêmeas por linhagens, em função da idade e da proteína bruta corporal.

As exigências nutricionais dos animais são afetadas por fatores intrínsecos ao animal, alimento, ambiente e suas interações, portanto, não devem ser fixas. A composição de nutrientes do animal interfere nas quantidades das dietas e no seu aporte nutricional. As exigências de proteínas e aminoácidos podem variar com o peso, taxa de crescimento e produção, todavia, recomendações são feitas com base em níveis de ingestão, conforme citado por Sakomura et al. (2002). Estes autores elaboraram um modelo para estimar as exigências de proteína bruta por poedeiras, usando o método fatorial (método em que as exigências são estimadas com a soma das exigências para manutenção e produção). Para isso, considerou-se o teor de proteína nos ovos e a eficiência de deposição do nitrogênio no ovo. A partir das exigências para manutenção, ganho e produção de ovos, obteve-se o seguinte modelo para estimativa da exigência diária de proteína bruta (g/ave/ dia) por poedeiras: $PB = 1,94.P_0,75 + 0,48.G + 0,301.O$, em que P = peso corporal (kg), G = ganho de peso diário (g/dia) e O = massa de ovos produzida (g/ave/dia).

Em peixes, a fase de crescimento interfere nas demandas por aminoácidos, ácidos gordos altamente insaturados e fosfolipídios, que são superiores na fase de larva quando comparada a fase juvenil. O crescimento e evolução da composição bioquímica das larvas ao longo do tempo são dependentes do consumo de alimentos, conforme sugerido por Conceição et al. (2007), que desenvolveram um modelo mecanístico. Os nutrientes absorvidos são usados para a produção de energia ou em processos de biossíntese. Logo, simulações utilizando este modelo sugerem mais atenção a possíveis desequilíbrios no perfil de aminoácidos e a eventuais excessos de lipídeos no alimento, de forma a aperfeiçoar o crescimento e as recomendações de dietas.

As ingestões de alimentos ricos em energia, aminoácidos, minerais, vitaminas e água são essenciais aos animais em quantidades adequadas para viver (manutenção), crescer e produzir (reprodução, lactação, etc.). As necessidades diárias de nutrientes podem ser estimadas pela demanda diária para manutenção e crescimento, calculados para cada nutriente ou seu precursor, com base nas suas eficiências nas respectivas funções metabólicas (POMAR et al., 2013).

Por exemplo, o consumo de aminoácidos define o funcionamento dos sistemas digestivos e imunológicos, além da síntese de proteína muscular. Todavia, sua ingestão varia de indivíduo para indivíduo, assim, estudo da variabilidade entre indivíduos, que é de extrema importância para o desenvolvimento de estratégias e programas nutricionais mais precisos (ISOLA et al., 2018). Portanto, a sua modelagem de ingestão direciona a complementação de dietas compostas por alimentos ricos em

carboidratos (exemplo, trigo, sorgo e milho), mas pobres em aminoácidos. Isola et al. (2018) avaliaram as respostas individuais e em grupo de suínos em crescimento à ingestão de treonina (fonte de aminoácidos), por meio do método dose-resposta. Nesta pesquisa foi usado o modelo linear platô ($NR = NR_p + b \cdot (I - Treing)$), NR = resposta de retenção de N; I – ingestão de treonina; e , $Treing$ = consumo de treonina na ração) e um modelo misto (considerando equações com efeitos fixos e aleatórios dos seus parâmetros). Os autores recomendam o uso de modelo misto que incorpora o consumo do grupo de animais, pois obteve resultado semelhante ao modelo linear platô que assume o consumo individual dos animais.

Silva et al. (2015) citam que o uso de um modelo linear platô para descrever a resposta de um indivíduo à ingestão de um nutriente tem sustentação teórica, já que cada indivíduo tem seu máximo potencial de produção, e qualquer aumento no consumo de nutriente acima do necessário para sua manutenção resulta numa resposta linear de seu crescimento, atendendo assim a exigência do indivíduo. Em aves, estes autores afirmam que, por causa da distribuição do peso corporal e da massa de ovos na população, a resposta média da população é curvilínea, a qual anula a possibilidade de definir uma "exigência" para o nutriente, por isso, define-se uma ingestão ótima econômica do nutriente. Os autores usaram o modelo "Reading", que descreve a resposta da população à ingestão do nutriente, integrando as respostas dos indivíduos que constituem a população, para estudar o consumo ótimo econômica de aminoácidos para poedeiras comerciais, com diferenças no peso corporal e massa de ovo. A resposta da população é obtida invertendo um modelo fatorial simples, usando parâmetros para descrever o peso corporal, máximo potencial de produção e as respectivas distribuições (normal) e covariância. A resposta média da população é concebida por um modelo linear-platô com uma forma sigmoidal.

Pomar et al. (2013) defendem a estimativa das necessidades de nutrientes em tempo real por indivíduo. Suínos em crescimento e terminação diferem no peso corporal e no potencial de crescimento e, portanto, nas necessidades nutricionais, uma vez que cada animal possui um nível ótimo de produção (taxa máxima de crescimento, conversão de alimento, etc.). Atualmente, a resposta ótima da população é obtida com níveis de nutrientes que satisfazem as exigências de animais mais exigentes, subestimando ou superestimando a dieta dos animais. Esses autores afirmam que a partir da adoção de uma "alimentação de precisão", dietas podem ser adaptadas diariamente por animal, com base em informações disponíveis na fazenda, como o consumo diário de ração e as medições do peso corporal dos animais, independentemente de fatores intrínsecos (genética, saúde, estado nutricional, etc.) e extrínsecos (ambiente, manejo, etc.). Este tipo de programa reduz a ingestão de lisina em mais de 25% e os custos de alimentação em mais de 8%, aumenta a eficiência de uso de nutrientes, reduz a excreção

de nutrientes e os custos de alimentação e, portanto, melhora a sustentabilidade e a competitividade da empresa.

Outro aspecto muito importante a ser considerado na formulação de dietas é o uso de programas que adotam modelos não lineares, logo que estes fornecem melhores resultados quando comparados com a formulação linear de ração. Segundo Gonçalves et al. (2015), a partir de modelos não lineares, os requisitos de todos os nutrientes são automaticamente ajustados, resultando em suprimento ótimo de energia dietética, além de estimar o ganho de peso mais rentável. Neste tipo de manejo, os autores mostram que densidade energética é um ótimo indicador para mensurar o consumo de alimento e que esta deve estar em consonância com a expectativa de lucro do produtor.

Entretanto, Hauschild et al. (2010) citam que, os métodos comumente usados (empíricos e fatorial) para estimar as necessidades de nutrientes fornecem diferentes recomendações nutricionais e têm limitações importantes que devem ser consideradas quando o objetivo é otimizar a resposta de indivíduos ou de populações de animais. Em suínos, estes autores testaram os métodos empíricos (método que maximiza ou minimiza um ou vários parâmetros de desempenho) e fatoriais na estimativa do ganho médio diário e da taxa de conversão alimentar, combinados a informações econômicas. Quando se considera o peso médio do animal que representa uma população, o método fatorial não é recomendado. Embora as respostas ótimas da população sejam obtidas pelo método empírico, os requisitos estimados são fixos e não podem ser usados para outros períodos de crescimento ou populações.

Assim, na escolha do modelo também devem ser avaliadas as características populacionais (peso corporal e sexo) e as condições do ambiente de crescimento (faixa de temperatura), nas quais os modelos foram desenvolvidos. Modelos empíricos são ajustados e usados para a previsão do consumo de ração, mas poucos são avaliados fora do ambiente em que foram desenvolvidos. Esta verificação é muito importante para se conhecer a aplicabilidade de tais modelos. Perondi et al. (2018) avaliaram 12 modelos de estimativa do consumo alimentar por suínos em crescimento e terminação criados em ambiente com alta temperatura, considerando todos os dados observados ou apenas os dados quando as condições ambientais, peso e sexo dos animais foram próximos aos utilizados no desenvolvimento dos modelos. Os modelos consideram as variáveis independentes: temperatura e, ou, peso corporal. A maioria dos modelos foi mais precisa quando se usou dados coletados em condições similares as suas elaborações. Porém, seis modelos podem ser usados em ambiente com altas temperaturas.

Além do interesse pela ingestão, a retenção e a excreção de nutrientes são de valiosas informações, logo que a atividade agropecuária tem suas contribuições para o impacto ambiental. Lovatto et al. (2005) propuseram um modelo para mensuração da ingestão, retenção e excreção de N e

P pela suinocultura, que assume dados de sistemas tecnológicos, categorias animais, concentrações de N e P das dietas e das eficiências digestiva e metabólica de N e P. O modelo integra três níveis de agregação e é constituído de dez compartimentos (N e P ingeridos, N e P do sistema gastrointestinal, N e P retidos, N e P fecais, N e P urinários) e 300 subcompartimentos (50 relacionados aos ST e 250 às categorias animais). De acordo com estes autores, o modelo desenvolvido simula adequadamente os fluxos de N e P nos sistemas de alta e média tecnologias de produção suína. Pesquisa semelhante foi posteriormente conduzida por Lovatto et al. (2010) para o estado do Rio Grande do Sul.

A duração do ciclo do animal é uma informação relevante, pois permite conhecer o momento que o animal está pronto para o abate. Durante o ciclo, as indústrias necessitam tomar várias decisões, que incluem a escolha do alimento, a formulação de dietas e o gerenciamento os custos, além de preocupações com o bem-estar dos animais que afetam a lucratividade. Assim, as previsibilidades do crescimento, da taxa máxima de crescimento e o momento para o abate contribuem no lucro da empresa (KUHI et al., 2010; GONÇALVES et al., 2015; DEMUNER et al., 2017).

Kuhi et al. (2010) afirmam que modelos matemáticos que têm um ponto de inflexão e incorporam a idade, ingestão dietética cumulativa, proteína e, ou, requerimentos diários de energia pelo animal são úteis para predizer o peso corporal do animal no momento do abate. Em aves, estes autores citam que ao descrever crescimento versus idade em aves de criatório, um ponto fixo de inflexão pode ser uma limitação com equações como Gompertz e logística. Os pontos de inflexão variam dependendo da idade, sexo, raça e tipo de animal. Portanto, equações como a de Richards e López são geralmente recomendadas. Para descrever a taxa de retenção em função da ingestão diária, que geralmente não exibe um ponto de inflexão, a função monomolecular ($Y=W_f-(W_f-W_o).e^{-ct}$, W_f e W_o , peso final e inicial; c , parâmetro; t = variável independente, idade ou ingestão dietética cumulativa) parece ser a mais adequada. Em suínos, Nascimento et al. (2017) indicam o modelo polinomial cúbico para a simulação do ganho de peso de machos e fêmeas, com duração de ciclo de 1 a 157 dias de idade, em função da idade do animal, em vez dos modelos logístico, potência, tangente hiperbólica e gamma.

4 LIMITAÇÕES DA MODELAGEM NA NUTRIÇÃO DE NÃO RUMINANTES

Ainda que várias pesquisas estejam sendo ampliadas ao longo dos anos, acompanhando os avanços tecnológicos, muitas restrições são vistas no uso de modelos na nutrição de animais não ruminantes. A principal delas é que ainda muitos programas de formulação de dietas não assumem as suas mensurações com base em modelos customizados para diversas espécies, raças, linhagens, etc., e em processos, onde se prevê o uso de modelos que descrevem o fenômeno como um todo, do consumo, ingestão, metabolismo, ganho de peso e excreção de nutrientes pelos animais. Além do mais não

consideram a diversidade dos sistemas de produção. Na maioria dos casos, únicos modelos são usados para descrever o processo totalmente (exemplo, ganho de peso envolve vários processos que vão da genética ao manejo, mas não apenas da idade do animal). As exigências nutricionais dos animais são afetadas por fatores inerentes ao animal, alimento, ambiente e suas interações, portanto, não devem ser fixas (SAKOMURA et al., 2002; CONCEIÇÃO et al., 2007; ISOLA et al., 2018).

Muitos softwares se baseiam em programação linear de custo mínimo e em tabelas de exigências fixas de nutrientes (LOVATTO et al., 2005). Nestes programas, ainda são considerados modelos lineares, enquanto se sabe que modelos não lineares tem respostas mais adequadas (DEMUNER et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2007).

O aparecimento de genótipos distintos dificulta esse entendimento. Suínos, por exemplo, podem ter sua potencialidade genética alterada a cada dois anos e aves a cada ano esse fator demanda pesquisas de nutrição para enquadrar as dietas aos avanços genéticos. Os modelos, na maioria das vezes, são empíricos fundamentados em informações de experimentos, que preveem o ganho de peso, ingestão, a composição (cinza, teor de umidade, gordura, proteína, etc.), ou aumento de energia, dimensão de tecidos e órgãos, mas não a interação entre estes. Os modelos também não integram tecnologias moleculares, dados de genoma e metaboloma. Os modelos e métodos de ajustes de seus parâmetros podem ser úteis quando se deseja para estimar a resposta de um único animal, mas quando o interesse é conhecer a demanda da população acabam falhando (HAUSCHILD et al., 2010; SILVA et al., 2015). Neste caso, é crucial que o modelo avance para um modelo estocástico (RONDÓN, 2007). Embora algumas pesquisas incentivem a adoção de métodos de “alimentação de precisão”, com vistas a estimativas de dietas por indivíduo (POMAR et al., 2013).

5 SISTEMAS E SERVIÇOS NA ALIMENTAÇÃO DE NÃO RUMINANTES

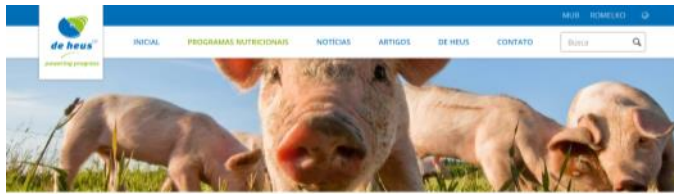
Na nutrição animal, a modelagem a cada ano vem contribuindo ainda mais para o aperfeiçoamento da alimentação, surgindo a “alimentação de precisão”. Para tal fim, desde a década 70 do Século XX, vários modelos e sistemas foram ampliados para a simulação do crescimento de animais a fim de se melhorar a formulação de dietas. Alguns destes modelos e sistemas, voltados, por exemplo, para a suinocultura, são: “Whittmine”, “Auspig”, “PorkMaster”, “PorcExpert”, “NRC”, “Lovatto”, “Schinckel”, “InraPorc”, “Watson” e o mais recente o AIPF (“Automated Intelligent Precision Feeder”) (OVIEDO-RONDÓN, POMAR e CONCEIÇÃO, 2014). Muitos destes modelos ou sistemas, atualmente, compõem programas de formulação de dietas de várias empresas Governamentais e não Governamentais para a prestação de serviços de nutrição aos suinocultores (Figura 1).

Em geral, estes modelos/sistemas buscam equacionar a energia requerida ao metabolismo do animal e, assim, o conhecimento das exigências nutricionais e as unidades de alimentação permitem a formulação das rações. Para tal, os modelos integram os principais nutrientes dos alimentos, o fluxo, a digestão e a absorção pelo animal, além das excreções nutricionais, gerando uma previsibilidade de resposta do animal. Aqui, dos sistemas serão destacados: o InraPorc^(R) e o AIPF, que semelhante aos demais não expõe todas equações e métodos utilizadas nas estimativas de consumo, ingestão e uso de energia pelo animal.

O InraPorc^(R) (diagrama na Figura 2A), idealizado pelo Instituto Nacional da Pesquisa Agronômica da França, considera o requerimento de aminoácidos digestíveis, energia líquida e proteína ideal pelos suínos. A partir da contribuição de cada nutriente é possível atender as exigências dos animais, após a sua ingestão, uso de energia e deposição proteica, e consequentemente, o ganho de peso, calculados por meio de modelos matemáticos. Neste sistema são usados o consumo de proteína, gordura, açúcares, amido e resíduos como variáveis de entrada. A ingestão depende do peso vivo do animal. A deposição de proteínas e lipídica está atrelada a energia e nutrientes disponíveis e ao potencial máximo de crescimento, o qual é usado na estimativa das demais partes do animal por modelos alométricos, que em seguida resultam no peso vivo total (LOVATO, 2013; ROSSI et al., 2013; SIQUEIRA, 2016). O peso vivo é usado no cálculo da deposição proteica pela equação de Gompertz. Os excedentes de nutrientes são gerados para energia metabolizável e energia líquida. Todas as estimativas são feitas para uma população de suínos.

Com o avanço da tecnologia de informação e de comunicação, e dos sensores e equipamentos automatizados, sistemas com base no AIPF têm ajudado a “alimentação de precisão”. Neste tipo de sistema, Pomar; López e Pomar (2011) citam que um software executa funções definidas, com troca de informações e solicitação de serviços por meio de uma linguagem de comunicação, denominando-se um componente lógico, composto por modelos matemáticos que estimam as dietas requeridas pelos animais. O sistema AIPF ainda prevê o componente estrutural, que é formado por comedouros atrelados a equipamentos de dosagem que atuam como alimentador e medidor do peso e consumo em tempo real, que alimenta o componente lógico para formulação de uma dieta específica por dia e para cada animal (Figura 2B). Neste sentido, Hauschild et al. (2012) propuseram um modelo matemático para estimar o requerimento diário de aminoácidos de suínos por indivíduo a partir de dados coletados em tempo real. Para isto, modelos empíricos estimaram a ingestão diária de ração, peso corporal e o ganho de peso diário. Estes dados foram usados em modelos mecanísticos para cálculo da concentração ótima de aminoácidos que devem ser oferecidos a cada animal para atender as exigências.

Brazilian Journal of Animal and Environmental Research



Programas nutricionais

- Bovinos
- Suínos
- CRECHE
- CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO

HOME / PROGRAMAS NUTRICIONAIS / SUÍNOS

Suínos

A De Heus desenvolve um conceito avançado e integrado de nutrição para suínos, padronizando os fatores que realmente importam para a competitividade do suinocultor:

- Formulações de alta precisão nutricional
- Segurança alimentar absoluta dos ingredientes



Nutrição

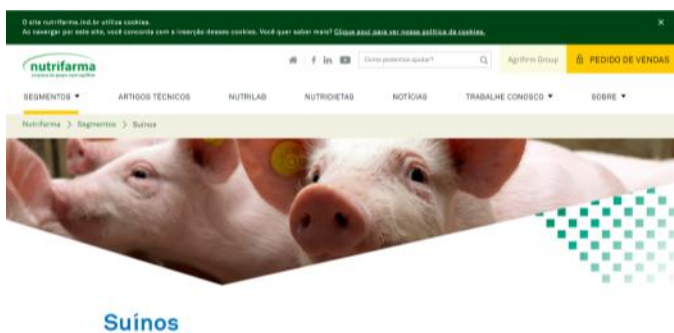
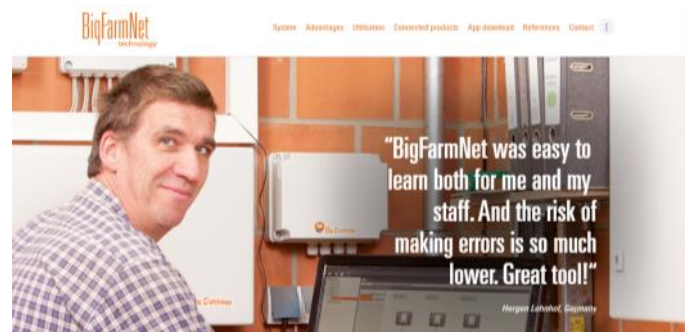
Alimentação alternativa para suínos

A alimentação alternativa para suínos vem sendo buscada por produtores do setor devido à alta do milho e do feijão de soja, produtos principais na composição alimentar do suíno, e [...]



NUTRIÇÃO SUÍNOS

A Linha Nutrição Suínos foi desenvolvida para atender aos mais rigorosos e modernos conceitos nutricionais para a suinocultura nas diferentes fases de produção. Composto por ingredientes de alta qualidade, enriquecido com vitaminas, minerais, aminoácidos e aditivos, proporciona o máximo desempenho produtivo.



Suínos



COMPETÊNCIAS TÉCNICAS EM SUÍNOS

Desde 1980, a BICAMM como uma equipe que engloba técnicos especializados em suínos em diferentes disciplinas, com conhecimentos e experiências práticas em nutrição para suínos. O objetivo era criar, através de pesquisa original e inovação contínua, um vasto leque de soluções para ajudar os produtores a gerenciar suas suinoculturas com sucesso.



SUÍNOS

SUMAX LEITÃO

Ração desenhada para alimentar suínos até 25 kg de peso vivo.

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)

[Mais informações](#)



Swine Nutrition and Production Solutions

Solutions that help improve your pork business



AgroSoft

Tel: 01728 685118

[Click Here for Software Support](#)

[Home](#) | [About us](#) | [PigVision](#) | [PigVision Mobile](#) | [Support](#) | [Blog](#)

[Benchmarking](#) | [Contact us](#)

[Search](#)

[PigVision](#)

[PigVision](#)

[PigVision](#)

[PigVision](#)

[PigVision](#)

[PigVision](#)

[PigVision](#)

[PigVision](#)

[PigVision](#)

[PigVision](#)

[PigVision](#)

[PigVision](#)

[PigVision](#)

[PigVision](#)

[PigVision](#)

[PigVision](#)

[PigVision](#)

[PigVision](#)

[PigVision](#)

[PigVision](#)

[PigVision](#)

[PigVision](#)

[PigVision](#)

[PigVision](#)



Inga Food

[Home](#) | [Contact](#) | [Nutrition Group](#) | [Innovation](#)

[Home](#) | [Contact](#) | [Nutrition Group](#) | [Innovation](#)

[Home](#) | [Contact](#) | [Nutrition Group](#) | [Innovation](#)

[Home](#) | [Contact](#) | [Nutrition Group](#) | [Innovation](#)

[Home](#) | [Contact](#) | [Nutrition Group](#) | [Innovation](#)

[Home](#) | [Contact](#) | [Nutrition Group](#) | [Innovation](#)

[Home](#) | [Contact](#) | [Nutrition Group](#) | [Innovation](#)

[Home](#) | [Contact](#) | [Nutrition Group](#) | [Innovation](#)

[Home](#) | [Contact](#) | [Nutrition Group](#) | [Innovation](#)

[Home](#) | [Contact](#) | [Nutrition Group](#) | [Innovation](#)

[Home](#) | [Contact](#) | [Nutrition Group](#) | [Innovation](#)

[Home](#) | [Contact](#) | [Nutrition Group](#) | [Innovation](#)

[Home](#) | [Contact](#) | [Nutrition Group](#) | [Innovation](#)

[Home](#) | [Contact](#) | [Nutrition Group](#) | [Innovation](#)

[Home](#) | [Contact](#) | [Nutrition Group](#) | [Innovation](#)

[Home](#) | [Contact](#) | [Nutrition Group](#) | [Innovation](#)

[Home](#) | [Contact](#) | [Nutrition Group](#) | [Innovation](#)

[Home](#) | [Contact](#) | [Nutrition Group](#) | [Innovation](#)

[Home](#) | [Contact](#) | [Nutrition Group](#) | [Innovation](#)

[Home](#) | [Contact](#) | [Nutrition Group](#) | [Innovation](#)

[Home](#) | [Contact](#) | [Nutrition Group](#) | [Innovation](#)

[Home](#) | [Contact](#) | [Nutrition Group](#) | [Innovation](#)

[Home](#) | [Contact](#) | [Nutrition Group](#) | [Innovation](#)

[Home](#) | [Contact](#) | [Nutrition Group](#) | [Innovation](#)

[Home](#) | [Contact](#) | [Nutrition Group](#) | [Innovation](#)

[Home](#) | [Contact](#) | [Nutrition Group](#) | [Innovation](#)

[Home](#) | [Contact](#) | [Nutrition Group](#) | [Innovation](#)

Figura 1. Empresas comerciais que prestam serviços de nutrição animal para suínos com a aplicação de programas de alimentação com base em modelagem matemática.

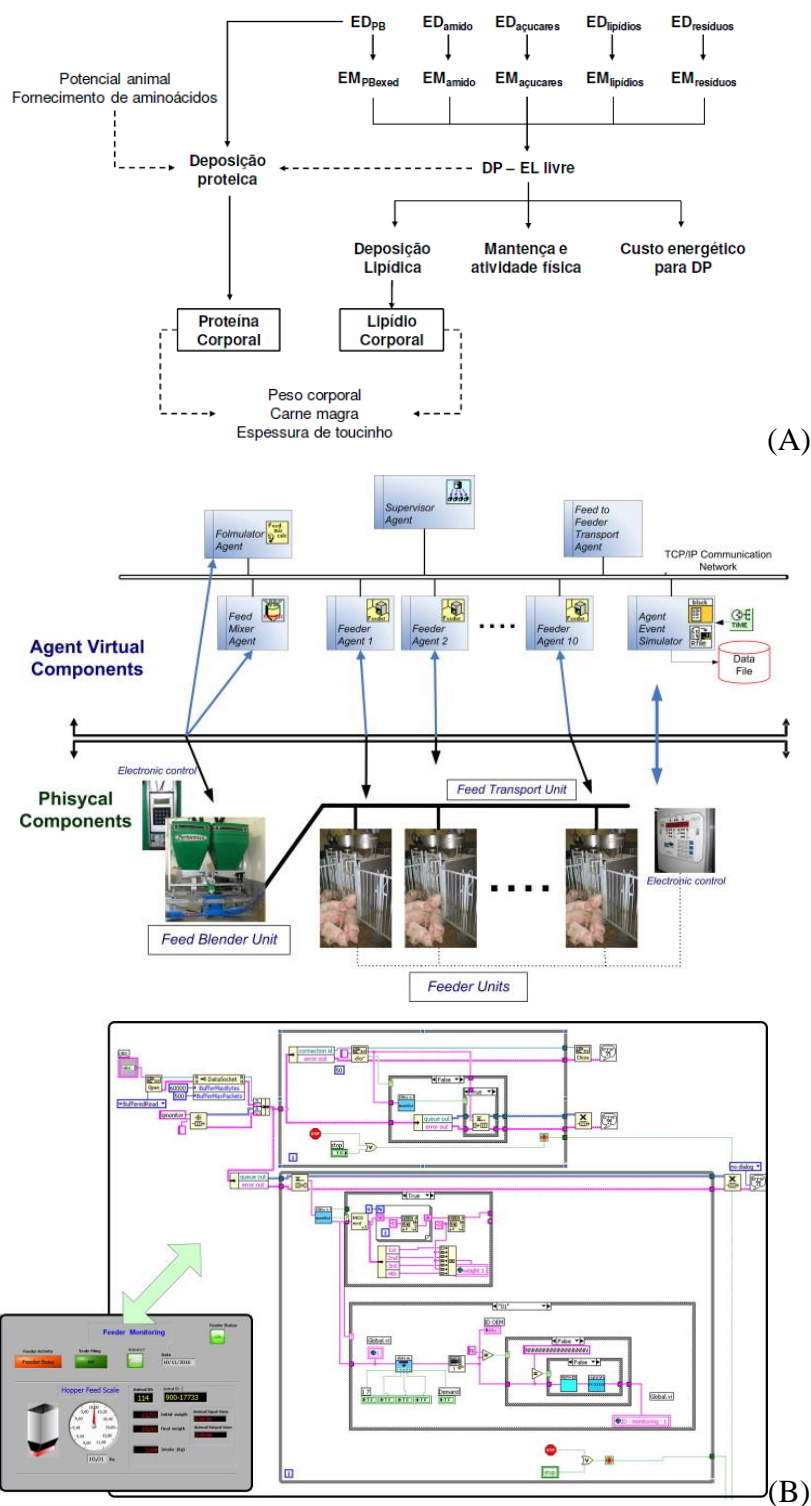


Figura 2. Esquema do modelo/sistema InraPorc® (A, Lovato, 2013) e de um sistema tipo AIPF (B, Pomar et al., 2011).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A modelagem é uma importante ferramenta de planejamento e tomada de decisão do manejo nutricional animal, uma vez que permite prever a dinâmica de nutrientes na interface dieta-animal, essencial para a formulação da ração e mensuração da lucratividade do produtor. Por esta técnica é possível simplificar fenômenos envolvidos alimentação, compreender os fatores que influenciam no aproveitamento do alimento e quais as práticas a serem adotadas na melhoria do sistema de produção e, logo, na sua sustentabilidade. Nesta revisão foram abordados aspectos gerais da modelagem, o avanço da pesquisa da dinâmica de nutrientes no animal e sua modelagem, limitações e o progresso da oferta de serviços de nutrição animal em função da associação da tecnologia da informação com os modelos matemáticos. Neste ramo, inicialmente devem ser considerados modelos que descrevem, por meio de dados experimentais, o crescimento e desenvolvimento do animal, composição corporal, densidade energética, consumo, ingestão e excreção de nutrientes e a duração do ciclo. Ainda que várias pesquisas estejam sendo ampliadas ao longo dos anos, muitas são restrições no uso de modelos na nutrição animal.

A principal delas é que ainda muitos programas de formulação de dietas não assumem modelos com base em processos. Mas, para um serviço de nutrição animal ainda mais preciso, informações customizadas de dentro da propriedade (condições ambientais e manejo da propriedade) são ideais na formulação de dietas. Com estes modelos e, sensores e equipamentos automatizados é possível programar sistemas com base no AIPF (“Automated Intelligent Precision Feeder”), que ajudam na “alimentação de precisão”.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES - Código Financeiro 001) pela bolsa de estudo da primeira autora.

REFERÊNCIAS

ANDRETA, I.; HAUSCHILD, L.; KIPPER, M.; PIRES, P. G.; POMAR, C. Environmental impacts of precision feeding programs applied in pig production. **Animal**, v. 4, p. 1-9, 2017.

<https://doi.org/10.1017/S1751731117003159>

BASSANEZI, R. C. **Ensino-aprendizagem com modelagem matemática**: uma nova estratégia. São Paulo: Contexto, 2002. 389 p.

CAMARGO, K. S.; SANTOS, A. C. F.; PEREIRA NETO, J. D.; LOPES, L. A. et al. Modelagem da exigência de lisina e deposição de nitrogênio para frangas de crescimento lento na fase inicial. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v. 24, n. 5, p. 275-275, 2016.

CERON, M. S. **Exigências de manutenção e eficiência de deposição de lisina e treonina para suínos**. 81f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/10817>

CONCEIÇÃO, L.; MORAIS, S.; ARAGÃO, C. Fluxos de nutrientes em larvas de peixes: aplicação de técnicas com marcadores isotópicos e de modelação **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, suplemento especial, p.11-20, 2007.

<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982007001000002>

DEMUNER, L. F. **Ajuste de curvas de crescimento e deposição de nutrientes em linhagens de frangos de corte com análise econômica**. 2016. 141f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, São Paulo, 2016.

<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74131/tde-03112016-140320/en.php>

DEMUNER, L. F.; SUCKEVERIS, D.; MUÑOZ, J. A. Adjustment of growth models in broiler chickens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 12, p. 1241-1252, 2017.

<http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2017001200013>

FREITAS, A. R. Curvas de crescimento na produção animal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 3, p.786–95, 2005.

<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982005000300010>

GONÇALVES, C. A. et al. Accuracy of nonlinear formulation of broiler diets: maximizing profits. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 17, n. 2, p. 173–180, 2015.

<http://dx.doi.org/10.1590/1516-635x1702173-180>

HARLOW, H. B. & IVEY, F. J. Accuracy, precision, and commercial Benefits of growth modeling for broilers. **Journal of Applied Poultry Research**, v.3, n.4, p. 391-402, 1994.

<https://doi.org/10.1093/japr/3.4.391>

HAUSCHILD, L. et al. Development of sustainable precision farming systems for swine: Estimating real-time individual amino acid requirements in growing-finishing pigs. **American Society of Animal Science**, v. 90, n. 7, p. 2255–2263, 2012.

<https://doi.org/10.2527/jas.2011-4252>

HAUSCHILD, L. **Modelagem individual e em tempo real das exigências nutricionais de suínos em crescimento**. 142f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/4315/HAUSCHILD%2C%20LUCIANO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

HAUSCHILD, L.; LOVATTO, P. A.; POMAR, J.; POMAR, C. Development of sustainable precision farming systems for swine: Estimating real-time individual energy and nutrient requirements in growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 1, p. 1-15, 2012.

<https://doi.org/10.2527/jas.2011-4252>

HAUSCHILD, L.; POMAR, C.; LOVATTO, P. A. Systematic comparison of the empirical and factorial methods used to estimate the nutrient requirements of growing pigs. **Animal**, v. 4, p. 714-723, 2010.

<https://doi.org/10.1017/S1751731109991546>

ISOLA, R. D. G. et al. Individual responses of growing pigs to threonine intake. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 47, n. 1, p. 1-7, 2018.

<http://dx.doi.org/10.1590/rbz4720170143>

KUHI, H. D. et al. A review of mathematical functions for the analysis of growth in poultry. **World's Poultry Science Journal**, v. 66, n. 2, p. 227-240, 2010.

<https://doi.org/10.1017/S0043933910000280>

LOVATO, G. D. **Ajustes nutricionais para suínos em crescimento e terminação através de uma ferramenta de nutrição de precisão**. 2013. 86f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/10825/LOVATO%2C%20GUSTAVO%20DIAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

LOVATTO, P. A. et al. Modelagem da ingestão, retenção e excreção de nitrogênio e fósforo pela suinocultura brasileira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 6, p. 2348-2354, 2005.

<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982005000700022>

LOVATTO, P. A. et al. Modelagem da ingestão, retenção e excreção de nitrogênio e fósforo pela suinocultura gaúcha: interface vegetal. **Ciência Rural**, v. 40, n. 4, p. 957-962, 2010.

<http://www.scielo.br/pdf/cr/v40n4/a556cr912.pdf>

LOVATTO, P. A.; SAUVANT, D. Modelagem aplicada aos processos digestivos e metabólicos dos suínos. **Ciência Rural**, v. 31, n.4, p. 663-670, 2001.

<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782001000400017>

NASCIMENTO, C. A. M. S. et al. Avaliação de curvas de crescimento em suínos. **Archivos de Zootecnia**, v. 66, n. 255, p. 317-323, 2017.

<https://doi.org/10.21071/az.v66i255.2506>

OLIVEIRA, L. DE; BRANDÃO, A. J. V.; BASSANEZI, R. C. Modelo de von Bertalanffy generalizado aplicado ao crescimento de suínos de corte. **Biomatemática**, v. 17, n. 1, p. 101–109, 2007.

http://www.ime.unicamp.br/~biomat/bio17_art10.pdf

OVIEDO-RONDÓN, E. O. Modelagem por compartimentos para integrar e comunicar conhecimento em nutrição. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. suplemento especial, p. 305–313, 2007.

<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982007001000028>

OVIEDO-RONDÓN, E. O.; POMAR, C.; CONCEIÇÃO, L. E. C. Modelagem na nutrição de monogástricos. In: SAKOMURA, N. K. et al. (org.). **Nutrição de Não Ruminantes**. Jaboticabal: Funep, p. 595-614, 2014.

PERONDI, D. et al. Empirical models to predict feed intake of growing-finishing pigs reared under high environmental temperatures. **Scientia Agricola**, v. 75, p. 296-303, 2018.

<http://dx.doi.org/10.1590/1678-992x-2016-0363>

POMAR, C. et al. Estimating real-time individual amino acid requirements in growing-finishing pigs: towards a new definition of nutrient requirements in growing-finishing pigs? In: International Symposium: Modelling in Pig and Poultry Production, 1., 2013. **Anais...** Jaboticabal, São Paulo, Brasil, 2013. p. 1-19.

POMAR, C.; HAUSCHILD, L.; ZHANG, G. -H.; POMAR, J.; LOVATTO, P. A. Applying precision feeding techniques in growing-finishing pig operation. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 226-237, 2009.

<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982009001300023>

POMAR, J.; LÓPEZ, V.; POMAR, C. Agent-based simulation framework for virtual prototyping of advanced livestock precision feeding systems. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 78, n. 1, p. 88–97, 2011.

<https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.06.004>

RONDÓN, E. O. O.; MURAKAMI, A. E.; SAKAGUTI, E. S. Modelagem computacional para produção e pesquisa em avicultura. **Brazilian Journal of Poultry Science**. v.4, n.1, p. 199-207, 2002.

<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-635X2002000100001>

ROSSI, C. A. R. et al. Dietas ajustadas para suínos através do modelo InraPorc®: desempenho, características de carcaça e impacto econômico. **Ciência Rural**, v. 43, n. 4, p. 689–695, 2013.

<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782013005000020>

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 4. ed. Viçosa, MG: Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, p. 488, 2017.

SAKOMURA, N. K.; BASAGLIA, R.; RESENDE, K. T. Modelling protein utilization in laying hens.

Revista Brasileira de Zootecnia, v. 31, n. 6, p. 2247–2254, 2002.

<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-635X2004000100001>

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**.

Jaboticabal: Funep, 2007. 283p.

SILVA, E. P. et al. Modelo de Reading para estimar a ingestão ótima econômica de aminoácidos para aves. **Ciência Rural**, v. 45, n. 3, p. 450–457, 2015.

<http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20120799>

SIQUEIRA, S. M. **Modelagem nutricional com o InraPorc® para produção de suínos pesados**.

2016. 69f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

<https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/43336>

STRINGHINI, J.H.; MCMANUS, C.; ARNHOLD, E.; CARVALHO, F.B. Alternativas para ajuste das matrizes nutricionais de ingredientes para formulação de rações. In: Congresso Latino-Americano de Nutrição Animal, 6., Estância de São Pedro, SP. **Anais...**, Estância de São Pedro, SP, 2014.

VAN MILGEN J., VALANCOGNE A., DUBOIS S., DOURMAD J-Y., SÈVE B., NOBLET J. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. **Animal Feed Science and Technology**, p. 387–405, 2008.

<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.05.020>